

М. Ю. Векслер

Уральский федеральный университет
имени первого Президента России Б. Н. Ельцина, г. Екатеринбург
*a9220311879@gmail.com,
Научный руководитель — проф., д-р техн. наук А. А. Попов

**ИССЛЕДОВАНИЕ ПОРОШКОВЫХ МАГНИТОМЯГКИХ МАТЕРИАЛОВ
НА ОСНОВЕ ЖЕЛЕЗА С ПОВЫШЕННЫМ КОМПЛЕКСОМ
ФИЗИКО-МЕХАНИЧЕСКИХ СВОЙСТВ**

Исследованы и определены структуры, свойства железных порошков марок ПЖР-2, ПЖА-1, ПЖА-2. Проведены опытные работы по отработке режимов процесса химико-термической обработки (ХТО) в виброкипящем слое (ВКС) на установке УТО-В-120.

Ключевые слова: железные порошки, железо, магнитомягкие материалы, виброкипящий слой, алитирование, микротвердость, зерно

M. Yu. Veksler

**RESEARCH OF POWDER MAGNETIC-SOFT MATERIALS
ON THE BASIS OF IRON WITH AN INCREASED COMPLEX
OF PHYSICAL AND MECHANICAL PROPERTIES**

The structures and properties of iron powders of the brands ПЖР-2, ПЖА-1, ПЖА-2 have been studied and determined. Experimental work was done to test the modes of the chemical-thermal processing (CHP) process in the vibro-fluidized bed (VFB) at the УТО-В-120 plant.

Key words: iron powders, iron, magnetic materials, vibrational layer, microhardness, grain

Для исследования были взяты: железный порошок марки ПЖР 2.450.26 ГОСТ 9849–86, произведенный предприятием АО «Северсталь», и железный алитированный порошок марки ПЖА-1 ТУ 24.10.14-004-84533196-2017 производства компании ООО «Авиатехносервис», получаемый путем химико-термической обработки ПЖР 2.450.26 в виброкипящем слое.

Порошки на основе железа и нержавеющей ферритных сталей применяются в качестве подвижных магнитопроводов в порошковых муф-

тах и тормозах, причем стоимость порошков из нержавеющей стали на 2–3 порядка выше стоимости железных порошков. Поэтому совершенствование технологии производства диффузионно-легированного железного порошка и создание более коррозионно- и износостойких композиций может существенно снизить эксплуатационные расходы используемых в промышленности порошковых муфт и тормозов.

Порошки в этих устройствах работают в тяжелых условиях: подвергаются трению, износу, воздействию коррозионной среды буровых установок [1].

Были определены магнитные характеристики порошков ПЖР 2 ПЖА-1, ПЖА-2, 13Х11Н2В2МФ (ЭИ 961). Исходя из результатов измерений (рис. 1) установлено, что ПЖА-2 и ПЖА-1 не изменили свои магнитные свойства после термической обработки в ВКС, также при сравнении с нержавеющей порошком марки 13Х11Н2В2МФ (ЭИ 961) видно, что порошки типа ПЖР и ПЖА имеют повышенные магнитные характеристики.

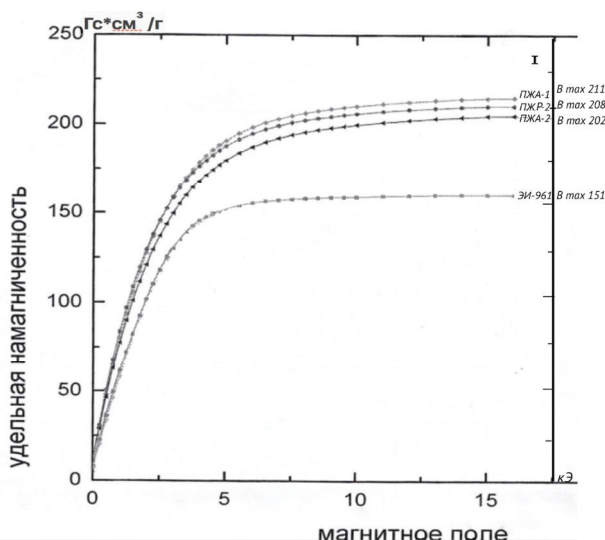


Рис. 1. Кривые намагничивания образцов порошка

В работе были выполнены металлографические исследования на оптическом микроскопе и растровом электронном микроскопе (РЭМ), измерена микротвердость, а также проведен микрорентгеноспектральный анализ химического состава порошка.

Как видно на рис. 2, частицы имеют равноосную зеренную структуру со средним размером зерна, 27,2 мкм для ПЖР-2 и 33,7 мкм для ПЖА-1, ПЖА-2.

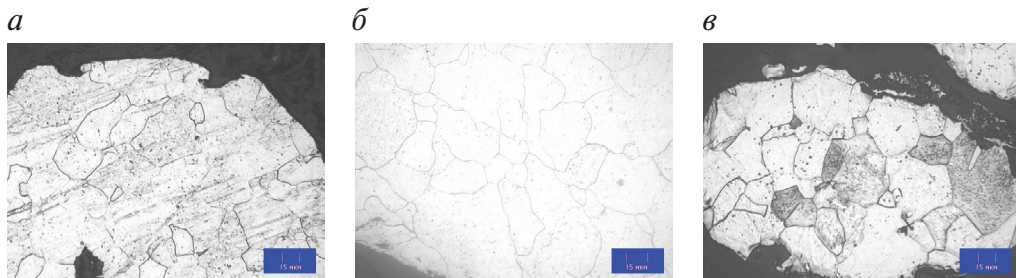
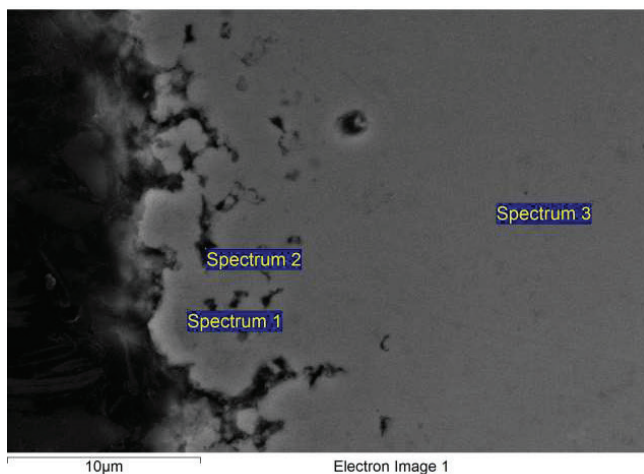


Рис. 2. Микроструктура частиц порошков:
а — ПЖР 2х400; *б* — ПЖА-1 2х400; *в* — ПЖА-2 х400

Приведенные на рис. 3 результаты, полученные на РЭМ, показывают достаточно однородное распределение железа, т. е. фактически это чистое железо с небольшим количеством примесей.



Spectrum	Al % масс.	Fe % масс.	Al % атм.	Fe % атм.	Общ. %
1	21,26	78,74	33,18	66,82	100,00
2	9,33	90,67	14,57	85,43	100,00
3	5,6	94,40	8,74	91,26	100,00

Рис. 3. Структура и химический состава
 поверхностного слоя порошка ПЖА-1, РЭМ

При диффузионном насыщении железа алюминием происходит образование твердого раствора алюминия в железе и интерметаллидных фаз.

Алюминий хорошо растворяется в железе, образуя широкие области твердых растворов и интерметаллические соединения. В сплавах данной системы в соответствии с диаграммой состояния Fe—Al образуются твердый раствор алюминия в железе и следующие интерметаллические соединения: Fe_3Al , FeAl_2 (49,13 % Al), FeAl (32,57 %) и другие соединения с повышенным содержанием алюминия [2].

На рис. 3, 4 представлены результаты электронно-микроскопических исследований порошка ПЖА-1. Приведенные данные свидетельствуют о том, что содержание Al в отдельных участках поверхности порошковой частицы достигает 33 % Al, а в поверхностном слое содержится 7,9–14 % Al.

Результаты полуколичественного анализа, приведенного на рис. 4, показывают, что в поверхностных слоях частиц порошка ПЖА-1 содержится около 5,9 % кислорода. Следовательно, Al и Fe находятся на поверхности в виде оксидов.

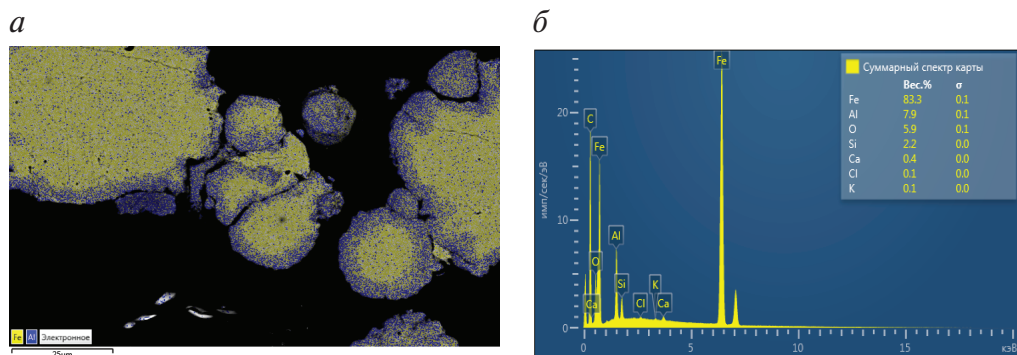


Рис. 4. Вид зерен пробы порошка ПЖА-1:

а — распределение Fe и Al; *б* — карта химических элементов

Порошки на основе железа должны обладать максимально возможной магнитной проницаемостью. По этой причине для решения задач химико-термической обработки большинство обычных легирующих элементов не пригодно. Исключение составляют алюминий и кремний, при разумном легировании повышающие магнитную проницаемость сплавов [3].

Для реализации устойчивой защитной функции покрытия требуется неравномерное распределение алюминия по радиусу частицы. Его содержание в диффузионной оболочке составляет ~10–14 %. По этой причине процесс алитирования не может быть продолжительным во избежание гомогенизации порошка по содержанию алюминия вследствие высокой диффузионной подвижности алюминия. Следовательно, необ-

ходима высокая активность газовой среды с целью поддержания высокого градиента концентраций между поверхностью частицы и подповерхностными слоями.

Фазовый состав поверхностного слоя соответствует α -твердому раствору алюминия в железе, при этом в покрытии на глубине в 20–30 мкм появляются интерметаллиды FeAl и Fe_3Al .

Определено содержание алюминия в поверхностном слое порошка ПЖА-1, которое в среднем составляет 7–11 ат. %, а максимальное достигает 30 ат. %. В ПЖА-2 среднее содержание в поверхностных слоях 17–21 ат. %, причем максимальное содержание в отдельных участках достигает 50 ат. %. Следовательно, в данном случае образуются алюминиды типа Fe_3Al и FeAl . Также была установлена повышенная твердость вблизи поверхности частиц легированного алюминием железного порошка.

ЛИТЕРАТУРА

- 1 Способ получения легированных порошков в виброкипящем слое : пат. 2606358 Рос. Федерация: МПК Н 01 В 1/38, Н 03 J 13/00 / Ю. Г. Векслер, М. Ю. Векслер ; заявитель и патентообладатель Векслер Ю. Г., Векслер М. Ю. № 2606358; заявл. 12.06.16; опубл. 04.10.16, Бюл. № 1 (II ч.). 2 с.
- 2 Векслер М. Ю., Попов Н. А. Исследование структуры и состава порошков после алитирования в виброкипящем слое // XV международная научно-техническая Уральская школа-семинар металловедов-молодых ученых : сб. науч. трудов. Екатеринбург : УрФУ, 2014. С. 81–83.
- 3 Магнитомягкие материалы URL: <http://forca.ru/spravka/spravka/magnitomyagkie-materialy.html> (дата обращения: 25.04.2018). Загл. с экрана.